

# SMALL CNC CUTTING MACHINE

**Juraj Golej**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xgolej00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Petyovský

E-mail: petyovsky@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This paper deals with design and realization of a large format 2D CNC machine for cutting thin soft materials, especially the cardboard. It includes design, build and revise individual parts of mechanic construction, control electronics and main control program, which processes the input data from external medium (PC or SD card). Important properties are large working area and high speed of movement.

**Keywords:** CNC, drag knife, stepper motor control, SD card, AVR, ARM, TB6600, V-slot

## 1 ÚVOD

Rezanie kartónu sa v súčasnej dobe rieši dvomi spôsobmi, vysekávaním a rezaním. Pri vysekávaní sa kartónová doska pretlačí cez valec so šablónou, ktorý z nej vysekne požadovaný tvar. Táto metóda sa používa pri veľkosériovej výrobe. U malosériovej, kusovej a prototypovej výrobe sa používajú veľkoformátové 2D CNC zariadenia, ktoré pomocou vhodného pohybu noža vyrežú požadovaný tvar. V tejto práci sa budem venovať práve rezacej metóde. Finálny výsledok bude kompletná mechanická konštrukcia s riadiacou elektronikou a softvérom. Pri návrhu budem dbať na jednoduchosť, modulárnosť, rýchlu diagnostiku chýb a bezpečnosť pri práci.

## 2 MECHANICKÁ KONŠTRUKCIA

Základ konštrukcie tvoria hliníkové stavebnicové profily V-slot [1], ktoré majú špeciálne upravené drážky do tvaru písmena V. V nich sa následne valia kolieska prichytené na pohyblivú časť konštrukcie. Výhoda takéhoto riešenia je v zlúčení nosnej konštrukcie a lineárneho vedenia do jedného veľmi modulárneho a jednoduchého riešenia, ktoré sa v súčasnej dobe začína hojne rozširovať s príchodom lacných 3D tlačiarňí.

Podstava rezačky je tvorená už spomínanými profilmi V-slot, medzi ktorými je vložená drevená doska o rozmere 1000x1000 mm spolu s korkovou doskou, ktorá tvorí mäkký podklad pre rezací nôž (kapitola 2.1). Po bočných profiloch sa pohybujú bočnice vypálené z duralovej dosky o hrúbke 6 mm, ktoré spolu s ďalším V-slot profilom a samotným nástrojom tvoria konštrukciu portálu (osa X). Po portáli sa pohybuje jazdec (osa Y), na ktorom je umiestnený pracovný nástroj (osa Z).

### 2.1 KONŠTRUKCIA NÁSTROJA

Ako rezací nástroj som si vybral vlečný nôž (drag knife). Je to špeciálny typ rezacieho noža, ktorý nemá otáčanie riadené motorom. Uloženie takéhoto noža musí byť úplne voľné, najlepšie v guľôčkových ložiskách. Princíp činnosti je podobný, ako pri koliesku kancelárskej stoličky. Os rotácie a os rezu musia byť od seba vzdialené o určitú vzdialenosť, v mojom prípade 8 mm. Čepel noža bude v tom prípade unášaná a natáčaná samotným pohybom hlavy CNC zariadenia po reznej trajektórii. Svoju konštrukciu som rozšíril o meranie prítlaku tenzometrickými snímačmi a meraním uhlu natočenia optickým inkrementálnym snímačom. Údaje zo snímačov sú spracované mikrokontrolérom ATtiny4313 a posielané po linke RS232 do hlavnej riadiacej jednotky.

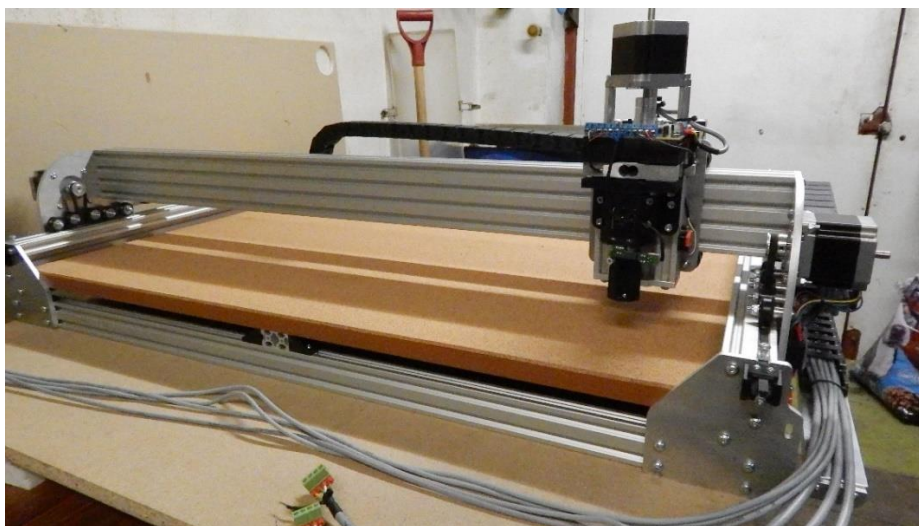
## 2.2 REALIZÁCIA POSUNU

Na prevod rotačného pohybu motorov na lineárny som si na osu X a Y zvolil posuv pomocou remeňa a na osu Z som použil trapézovú skrutku, ktorá má jemnejšie polohovanie oproti remeňom.

Pre pohon všetkých osí sú použité hybridné krokové motory rady Nema 23. Statický krútiaci moment sa pri tomto type motoru pohybuje od 0,5 Nm do 3 Nm, čo je dostatočný výkonový rozsah pre môj návrh CNC rezačky. Krokové motory boli zvolené z dôvodu relatívne jednoduchého ovládania (riadenie v otvorenej slučke) a nízkej ceny. Aby som zamedzil strate kroku momentovým preťažením, musel som vypočítať minimálny krútiaci moment pre každý motor. Ako základ výpočtu som použil rovnicu (1).

$$M_m = (M_S + M_D) \cdot S_f \quad [\text{Nm}] \quad (1)$$

Minimálny krútiaci moment  $M_m$  krokového motora vypočítam ako súčet statického momentu  $M_S$  [Nm] a dynamického momentu  $M_D$  [Nm], vynásobený bezrozmerným bezpečnostným faktorom  $S_f$  [-]. Statický moment je potrebný na prekonanie trecích síl medzi kolieskami a drážkou resp. medzi skrutkou a maticou. K nemu je započítaný aj odpor noža pri rezaní. Dynamický moment je závislý na požadovanom maximálnom zrýchlení. Keďže nedokážem číselne vypočítať všetky silové pôsobenia v sústave tak sa výsledný moment násobí bezpečnostným faktorom  $S_f$ , ktorého veľkosť je väčšia ako 1. Vzhľadom na rozsah tohto príspevku nebudem uvádzať kompletne výpočty. Vo výsledku som zvolil motor od firmy OMC-StepperOnline s kódovým označením 23HS22-3008D [2] so statickým krútiacim momentom 1,26 Nm pri započítaní bezpečnostného faktoru veľkosti 2. Je použitý na všetky osi.



Obrázok 1: Mechanická konštrukcia rezačky

## 3 RIADIACA ELEKTRONIKA

Moja základná myšlienka návrhu riadiacej elektroniky bola tá, že počítač nebude riadiť krokové motory a ostatné periférie, ani nebude spracovávať snímané signály, ako to bolo zvykom pri starších typoch zariadení, ktoré sa riadili cez LPT port. Túto činnosť bude vykonávať mikrokontrolér typu ARM Cortex M7 s označením ATSAME70Q21 [3] od firmy Microchip. Vybral som ho hlavne z dôvodu jeho vysokej výpočtovej výkonnosti (CPU môže byť taktované až na 300 MHz), veľkým počtom I/O a integráciou Floating Point Unit (FPU). S výhodou som pri realizácii tejto práce využil kit SAME70-XPLD, kde je zvolený mikrokontrolér osadený.

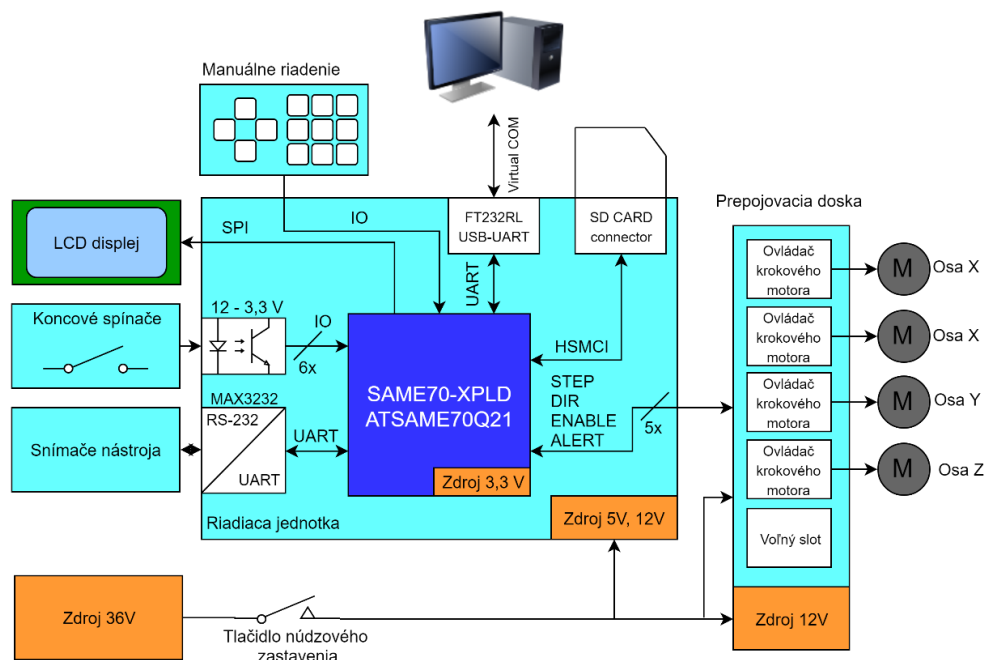
Ako ovládač krokového motoru som zvolil populárny čip TB6600HG [4] od firmy TOSHIBA, ktorý dokáže dodať maximálny prúd až 4,5A a môže rozdeliť jeden krok až na 16 častí. Na jednej DPS sa okrem tohto čipu nachádzajú aj pomocné obvody, a to konkrétne ochrana proti prepólovaniu,

ochrana proti vysokému napätiu, manuálne nastavenie mikrokrokovania a elektrického prúdu, galvanické oddelenie I/O signálov, automatické zníženie prúdu pri nečinnosti a spúšťanie ventilátora pri prekročení nastavenej teploty. Celkovo sú použité štyri rovnaké ovládače, ktoré sú zasunuté do prepojovacej dosky. Z nej vedie jeden plochý kábel priamo do riadiacej jednotky.

Ako koncové snímače som použil mechanické spínače typu SPDT od firmy Omron s označením V-152-1C25. Aby som čo najviac obmedzil elektromagnetické rušenie sú všetky vonkajšie vodiče tienené a pracujú s napäťovú úrovňou 12V. Na vstupnej doske sa potom táto hodnota prevádza na 3,3V úroveň pomocou optočlenov.

Manuálne riadenie pozostáva z klávesnice zapojenej ako matica 4x4, joystiku pre plynulé manuálne ovládanie pohybu a grafického monochromatického LCD displeja s rozlíšením 128x64 pixelov komunikujúcim cez rozhranie SPI.

Celá elektronika je napájaná zo spínaného zdroja S-400-36 od firmy OMC-StepperOnline s výstupným napätím 36V a výkonom 400W. Blokovaná schéma elektroniky sa nachádza na obrázku 2.



**Obrázok 2:** Blokovaná schéma riadiacej elektroniky

#### 4 ŠTRUKTÚRA PROGRAMU

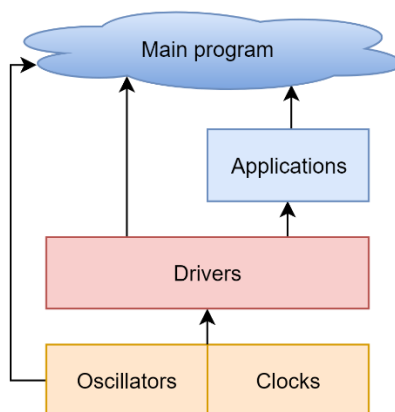
Celý firmware je napísaný vo vývojovom prostredí Atmel Studio 7. Ako programovací jazyk som si zvolil C. Zo začiatku som sa pokúšal používať framework od Microchipu s názvom Atmel START. Konfigurácia periférií, mapovanie pinov ako aj nastavenie hodinových signálov prebieha cez webové rozhranie s následnou generáciou projektu do Atmel Studia. Postupom času som ale narazil na limity spôsobené jeho vysokou univerzálnosťou (napr. pri periférii čítača/časovača dokázal nakonfigurovať len jeden kanál z troch nezávislých, podobne aj pri PWM periférii). Preto som sa rozhodol si napísať svoje vlastné knižnice pre prácu s jednotlivými potrebnými perifériami. Základná štruktúra programu pre mikrokontrolér sa nachádza na obrázku 3.

Najnižšiu vrstvu tvoria dva bloky, ktoré medzi sebou veľmi úzko súvisia, a to oscilátory a generátory hodinových signálov pre MCU. V prípade oscilátorov sa jedná o funkcie pre nastavenie základných oscilačných kmitočtov, ako je Slow clock (32 kHz), Main clock a PLL. Tieto kmitočty sú použité ako vstup na vytvorenie hodín pre MCU, periférie, zbernice atď. O tie sa starajú funkcie z bloku Clocks.

Prostrednú vrstvu tvoria takzvané ovládače pre prácu s jednotlivými perifériami. Každá periféria má svoje riadiace, stavové a dátové registre, ku ktorým som vytvoril interface. Hlavný program už môže priamo pracovať s takýmto ovládačom.

Pre komplexnejšie bloky, napr. LCD, ktorý potrebuje na svoje fungovanie ovládače pre SPI a časovač (medzi inštrukciami musí byť 72 us medzera), je určená aplikačná vrstva. Tá v sebe zapuzdruje viacero ovládačov periférií a vytvára k nim svoj vlastný interface (u LCD sú to funkcie ako `lcd_clear()`, `lcd_goto(row, column)`, `lcd_showImage()` apod.).

V hlavnom programe sa po spustení vykoná inicializácia hodinových signálov, konfigurácia pinov a ovládačov a následne sa začne vykonávať samotný program.



**Obrázok 3:** Základná štruktúra programu

## 5 ZÁVER

Tento príspevok stručne zhrňuje prácu na CNC rezacom zariadení. Na začiatku som navrhol a zostrojil mechanickú konštrukciu. Snažil som sa použiť čo najviac normalizovaných častí, aby som nemusel dávať vyrábať zložité súčiastky firmám, čo by značne navýšilo rozpočet. Menej namáhané alebo na mieru navrhnuté časti sú vytlačené na 3D tlačiarňi. Nasledoval návrh elektroniky, kde som sa z väčšej časti venoval ovládaču krokového motora, ktorý ako jediný má dvojvrstvovú profesionálne vyrobenú DPS. Pri ostatných moduloch sú použité jednovrstvové DPS, ktoré som si vyrábal sám. V čase písania tohto článku sa venujem tvorbe programu pre mikrokontrolér. Väčšinu ovládačov pre periférie mám napísaných, ako aj písanie na LCD displej a získavanie dát z klávesnice. Momentálne sa venujem spracovaniu vstupných dát a tvorbu interpolačných kriviek pre pohyb nástroja.

## REFERENCIE

- [1] *V-Slot* [online]. Rat Rig, c2017 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.ratrig.com/aluminium-profiles/vslot.html>
- [2] *Katalógový list: Motor 23HS22-3008D* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-3008D.pdf>
- [3] *Katalógový list: SAM E70/S70/V70/V71 Family* [online]. Microchip Technology, c2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/Device-Doc/SAM%20E70S70V70V71-Family%20-%2060001527D.pdf>
- [4] *Katalógový list: TB6600HG* [online]. Toshiba Corporation, 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=14683&prod-Name=TB6600HG>